



Solaffugter

Andersen, Elsa; Furbo, Simon

Publication date:
2017

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Andersen, E., & Furbo, S. (2017). *Solaffugter*. DTU Byg, Danmarks Tekniske Universitet. DTU Byg Rapport No. 368 (DK)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Solaffugter



Elsa Andersen
Simon Furbo

Teknisk rapport

Institut for Byggeri og Anlæg
2017

DTU Byg Rapport-368 (DK)
Marts 2017

Forord

Forhåndenværende rapport er en del af afslutningsrapporten på eudp projektet Solaffugter, J.nr. 64015-0054. Projektet er udført i samarbejde med partnerne i projektet som er: SolaVenti A/S, Aros Teknik ApS, DTU Byg, Cenergia Project ApS, Den Jyske Håndværkerskole samt det tyske firma energi 21.

Indhold

Forord	1
Summary.....	3
Introduktion.....	3
Beskrivelse af solaffugteren	4
Prøvestanden.....	4
Under prøvningen måles	5
Driftssituationer under afprøvning.....	6
Driftsbetingelser under afprøvning	7
Resultater	7
Konklusion	12

Summary

In the project, the well-known air solar collector from SolarVenti A/S extended with a layer of the moisture absorption material silica gel is investigated. The solar dehumidifier is tested outdoor at DTU Byg.

The aim of the project is to show and demonstrate, under different operation and weather conditions:

- Dehumidification of moist silica gel during the day, when air heated by the sun flows through the silica gel
- Dehumidification of ventilation air during the night, when air flows through the dry silica gel

The investigations show that the silica gel is dried out in the best way during the day:

- With an air flow of about $100 \text{ m}^3/\text{h}$
- When the air flow is started when the solar irradiance on the solar dehumidifier is larger than 600 W/m^2
- When the air flow is stopped when the solar irradiance on the solar dehumidifier is lower than 500 W/m^2

The investigations show that the ventilation air is dried out in the best way during the night:

- With an air flow of about $100 \text{ m}^3/\text{h}$

The investigations also show that the weight of solar dehumidifier, right after installation in June change about 3.5 kg from day to night. Shortly after, the weight of solar dehumidifier change about 2 kg from day to night. From the end of September, the weight change is decreased to around 0.5 kg due to few and short sunny periods with only low amount of solar irradiance.

Introduktion

I projektet Solaffugter, afprøves den velkendte luftsolffanger fra SolarVenti A/S udbygget med et lag af det fugtabsorberende materiale, silikagel. Solaffugteren afprøves udendørs på DTU Byg.

Formålet med projektet er at vise og demonstrere affugtning med solopvarmet luft. Projektets hovedaktiviteter er at undersøge hvorledes det nuværende design af solaffugteren fungerer under forskellige driftsforhold og forskellige vejrforhold og på baggrund af de undersøgelser at bestemme om designet med fordel bør ændres samt de optimale driftsstrategier.

Baggrunden for projektet er et stort og stigende behov for affugtning i bygninger og i forbindelse med tekniske installationer. I dag anvendes ofte eldrevne affugtere med store elforbrug, eller også bliver bygningen ikke affugtet hvilket medfører dårligt indeklima for de personer der opholder sig i bygningerne, eller som benytter materialer der har været i den fugtige bygning. Fugt kan også medføre materielle skader på bygning, materialer eller teknisk udstyr.

Solaffugteren kan affugte indblæsningsluft, f.eks. i vanskelige kældre, som kræver ekstra tør luft (kolde kældervægge kondenserer varm luft om sommeren), i vindmølletårne og større metalkonstruktioner med fugtproblemer eller i kraner ved havne (f.eks. i Spanien) hvor kranhuset på jorden ofte har fugtproblemer.

Energiteknologisk kan opfindelsen bidrage til en væsentlig øget anvendelse af solenergi og erstatte eldrevet affugtning. Da driften af solaffugteren vil være uhyre billig kan den give en væsentlig og givetvis mere permanent affugtning til gavn for bygninger, mennesker og udstyr.

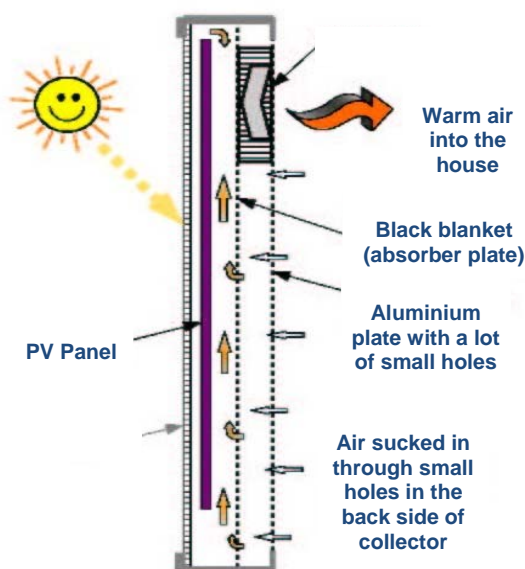
Beskrivelse af solaffugteren

Figur 1 viser en principskitse og et funktionsdiagram for luftsolfangeren SV14 fra SolarVenti A/S. Den nyudviklede solaffugter er baseret på den viste luftsolfanger. Til forskel fra SV 14 er solaffugteren forsynet med to aluminiumsplader med huller på bagsiden. De to aluminiumsplader har en indbyrdes afstand på 13 mm. Hulrummet mellem de to aluminiumsplader er fyldt med silikagel. Solaffugteren er desuden udstyret med to ventilatorer, der muliggør driftssituationer til både udtørring og opfugtning af silikagelen. De to mulige driftssituationer er beskrevet nærmere i afsnittet "Driftssituationer under afprøvning".

Solaffugteren er ikke isoleret med isoleringsmateriale. Den har et dæklag bestående af en polykarbonat kanalplade, der fungerer som transparent isolering på solaffugterens forside.

Solaffugteren har et areal på knap 1,4 m² med dimensionerne (LxBxD) i mm: 1974 x 704 x 55.

Solaffugteren kan monteres med ventilatoren placeret øverst eller nederst eller solaffugteren kan vendes 90°, så ventilatoren enten er placeret til højre eller venstre i solaffugteren.



Figur 1. Principskitse og funktionsdiagram af SolarVenti SV14.

Prøvestanden

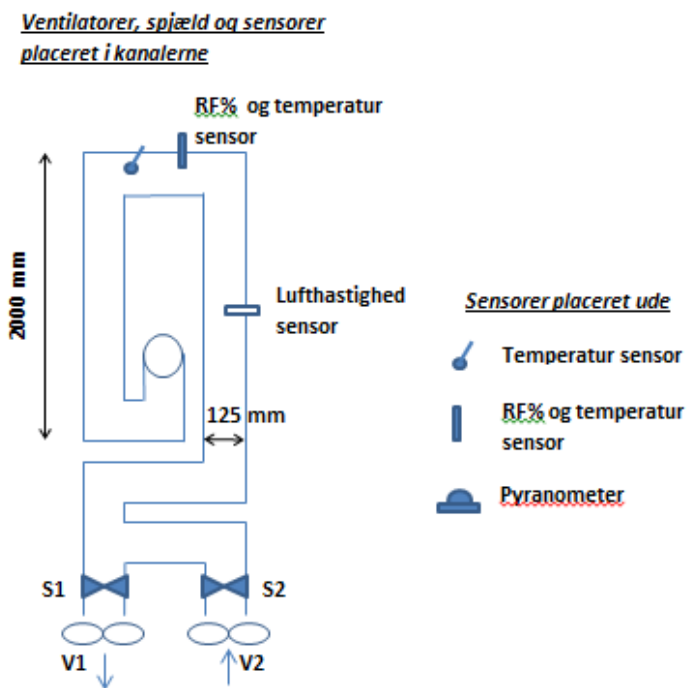
Figur 2 viser billeder af forsøgsopstillingen med solaffugteren monteret i prøvestanden på DTU Byg. Prøvestanden er monteret på en sydvendt 45° hældende tagflade. Billedet til venstre viser den oprindelige forsøgsopstilling, billedet i midten viser forsøgsopstillingen med en lille dummy solfanger monteret i højre side mens billedet til højre viser forsøgsopstillingen med afskærmning af ventilationskanalen, der forhindrer at solens stråler kan opvarme ventilationskanalen og dermed forvarme luften inden den når solaffugteren. Den lille dummy luftsolfanger anvendes til at måle temperaturen i en uforstyrret luftsolfanger og styre driften af solaffugteren i dagtimerne efter temperaturen i dummy luftsolfangeren.



Figur 2. Solaffugter på luftsolfangerprøvestand.

To ventilatorer sørger for at udeluften passerer solaffugteren. De to ventilatorer er ikke i drift samtidig. Ventilatoren V1 er i drift i dagtimerne mens ventilatoren V2 er i drift i nattetimerne. De to spjæld S1 og S2 åbnes og lukkes i samspil med de to ventilatorer. Dermed kan luften, som tilsigtet passere solaffugteren i begge retninger.

Figur 3 viser en principskitse af solfangerprøvestanden.



Figur 3. Principskitse af prøvestanden

Under prøvningen måles

- Lufthastigheden i ventilationskanalen målt med lufthastighedsmåler der anvender "hot film anemometer" princippet. Diameteren af ventilationskanalen er 125 mm og dermed kan målingen omregnes til luftflow gennem solaffugteren.
- temperaturen ude og temperaturen i ventilationskanalen
- temperaturen samt den relative fugtighed ude og i ventilationskanalen målt med fugtmåler

- vægten af solaffugteren målt med 4 vejeceller, 1 i hvert hjørne af solaffugteren
- solbestrålingsstyrken på solaffugteren målt med pyranometer

Tabel 1 viser tekniske data for måleudstyret.

Tabel 1. Data for måleudstyr i luftsolffangerprøvestanden.

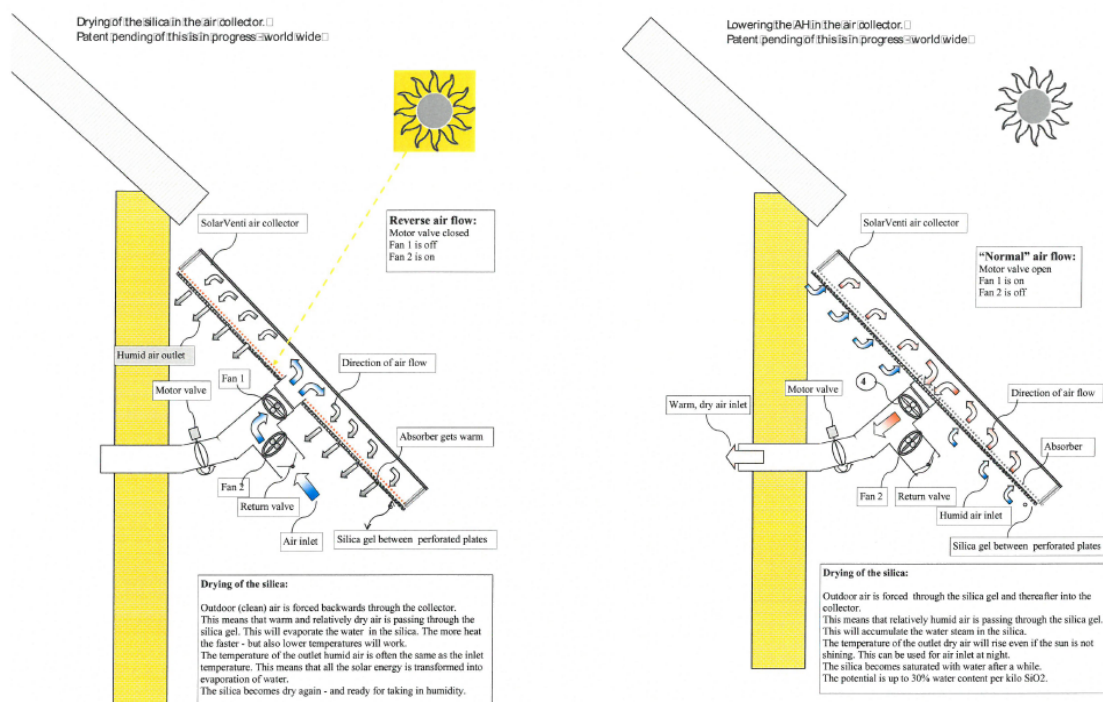
Beskrivelse	Producent	Type	Nøjagtighed
Temperaturføler		Kobber/konstantan type TT	0.5 K
Temperaturføler		Kobber/konstantan type TT	0.5 K
Fugtmåler x 3	E+E Elektronik Ges.m.b.H., Østrig	EE210	$\leq 90\% \text{ RF: } \pm(1.3+0.003 \cdot \text{målt værdi}) [\% \text{ RF}]$ $> 90\% \text{ RF: } \pm 2.3 [\% \text{ RF}]$
Flowmåler		EE65 (0.2-10 m/s)	$\pm(0.2 \text{ m/s} + 0.03 \cdot \text{målt værdi}) [\text{m/s}]$
Pyranometer	Kipp og Zonen B. V., Holland	CMP 11	1.4 %
Vejeceller x 4	Mettler Toledo, Schweiz	Z6(F/G)C3/50 kg	

Driftssituationer under afprøvning

Der forekommer to driftssituationer:

- 1) Dagdrift hvor silikagelen udtørres med solopvarmet udeluft.
- 2) Natdrift hvor udeluften affugtes, mens silikagelen fugtes op, inden udeluften blæses ind i bygningen (der er ikke en bygning her, så luften blæses blot ud i det fri).

De to driftssituationer er afbildet i Figur 4.



Figur 4. Driftssituationer. 1) Dagsdrift, til venstre. 2) Natdrift, til højre.

Driftsbetingelser under afprøvning

Tabel 2 viser driftsbetingelserne der er anvendt under afprøvning af solaffugteren.

Tabel 2. Driftsbetingelser under afprøvning.

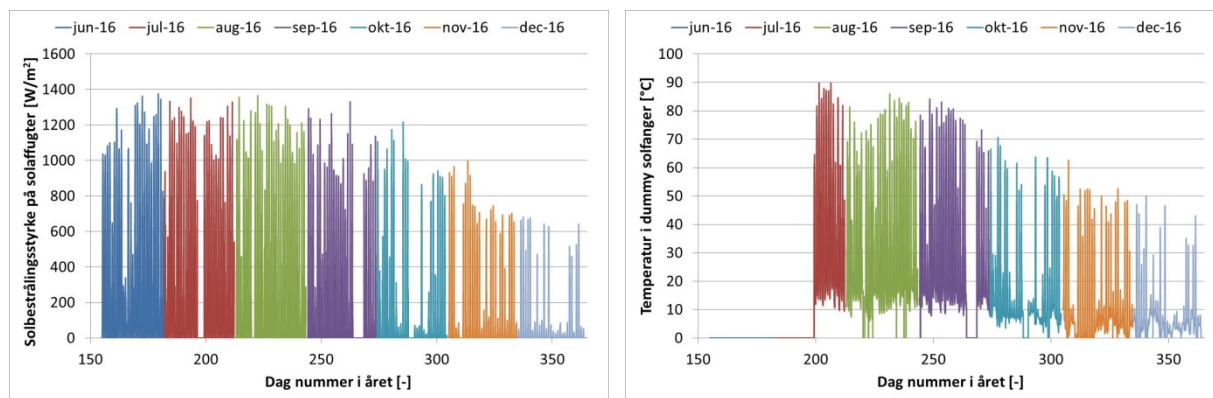
Periode i 2016	Luftflow, dag [m ³ /h]	Luftflow, nat [m ³ /h]	T _{dummy,start} [°C]	T _{dummy,stop} [°C]
Den oprindelige forsøgsopstilling (figur 1, tv.)				
4/6 – 7/6	100	90	-	-
7/6 – 9/6	200	180	-	-
9/6 – 16/6	100	100	-	-
16/6 – 21/6	50	50	-	-
21/6 – 15/7	13	70	-	-
Forsøgsopstilling med dummy solfangeren (figur 1 mf.)				
18/7 – 12/8	10	70	60	35
12/8 – 22/8	10	70	60	50
Den ombyggede forsøgsopstilling (figur 1, th.)				
22/8 – 1/9	10	70	60	50
2/9 – 15/9	40	70	60	50
15/9 – 9/12	70	70	60	50
9/12 – 31/12	70	70	40	30

I den oprindelige forsøgsopstilling, kan luften der anvendes til udtørring af silikagelen i solaffugteren forvarmes ved passage gennem ventilationskanalerne i prøvestanden, idet ventilationskanalerne varmes op af solens stråler (figur 1, tv.). Ved afprøvning i den oprindelige

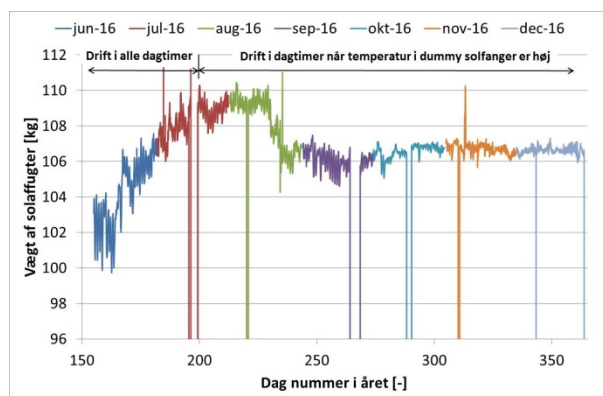
forsøgsopstilling er ventilatoren V1 i drift hele dagen uanset vejrforholdene. Efter installation af dummy solfangeren (figur 1, mf.) starter ventilatoren V1 når temperaturen overstiger en defineret starttemperatur, $T_{\text{dummy,start}}$ og er i drift indtil temperaturen falder under en defineret stoptemperatur, $T_{\text{dummy,stop}}$. I den ombyggede forsøgsopstilling, kan luften der anvendes til udtørring af silikagelen i solaffugteren ikke forvarmes ved passage gennem ventilationskanalerne i prøvestanden, idet ventilationskanalerne nu er afskærmede fra solens stråler (figur 1, th.). Ventilatoren V2 er i konstant drift i nattetimerne igennem hele afprøvningsperioden.

Resultater

Solaffugteren evne til at optage og afgive fugt vurderes ud fra vægtændringer af solaffugteren igennem dag- og nattetimer. Figur 5 viser solbestrålingsstyrken på solaffugteren (til venstre) og temperaturen i dummy solfangeren (til højre) mens Figur 6 viser hvorledes vægten af solaffugteren varierer igennem måleperioden.



Figur 5. Til venstre: Solbestrålingsstyrke på solaffugter. Til højre: Temperatur i dummy solfanger.



Figur 6. Vægt af solaffugter i måleperioden.

Det ses tydeligt af Figur 6 at vægtændringen mellem dag og nat er langt størst i starten af måleperioden hvor vægtændringer på 3,5 kg kan ses de første meget solrige dage i måleperiode. I perioden frem til installation af dummy solfangeren midt i august, ses det at vægtniveauet er konstant stigende og at vægtændringen mellem dag og nat er aftaget og nu varierer mellem 1 kg – 2 kg. Den generelle vægtforøgelse af solaffugteren skyldes her at solaffugteren opfugtes fordi ventilatoren V1 er i drift i alle dagtimer, også når det regner. Efter installation af dummy

solfangeren, styres ventilator V1 i dagtimer efter temperaturen i dummy solfangeren. Det ses at vægtniveauet af solaffugteren efter en periode falder. Faldet når dog ikke helt ned på vægtniveauet som det var i starten af måleperioden og skyldes formodentlig at der er ophobet væske solaffugteren som den ikke kan skille sig af med i det danske efterår. Frem til slutningen af september er vægtændringen mellem dag og nat fortsat mellem 1 kg – 2 kg. Herefter falder vægtændringen mellem dag og nat til ca. 0,5 kg. Den meget lave vægtændring i oktober og november, skyldes at temperaturen i dummy solfangeren kun sjældent når op på temperaturer der er høje nok til at starte ventilator V1 og dermed at solaffugteren kun sjældent er i drift, se figur 3 tv.

Figur 7-Figur 13 viser måleresultater for udvalgte perioder i måleperioden.

De udvalgte perioder er perioder uden nedbør i hverken dag- eller nattetimer. Nedbør påvirker vægten af solaffugteren og kan derfor give misvisende resultater for vægtændringen af solaffugteren.

Af Figur 7 tv. Ses det at vægten af solaffugteren begynder at stige sidst på dagen når solbestrålingsstyrken bliver mindre end 500 W/m^2 selv om ventilator V1 fortsat er i drift.

Af Figur 7 th. ses det at en øgning af luftflowet i dagtimerne fra $100 \text{ m}^3/\text{h}$ – $200 \text{ m}^3/\text{h}$ ikke har indflydelse på affugtningen. Det påvirker heller ikke opfugtningen i nattetimerne at luftflowet øges fra $90 \text{ m}^3/\text{h}$ – $180 \text{ m}^3/\text{h}$.

Af Figur 8 th. ses det at vægten af solaffugteren falder så snart solen står op, selvom ventilator V1 endnu ikke er gået i gang. Det skyldes at vægten af duggen forsvinder og at solaffugteren varmes op og dermed bliver lettere, da noget af fugten som er ophobet i silikagelen vil overgå til vanddamp som ikke belaster vejecellerne. Dette samme vægttab af solaffugteren om morgenen kan også observeres på de resterende af figurerne. Det ses også at vægten af solaffugteren stiger sidst på dagen mens ventilator V1 stadig er i drift. Dermed kan det konkluderes at stopbetingelsen for ventilator V1, $T_{\text{dummy,stop}} < 35^\circ\text{C}$ er for lav.

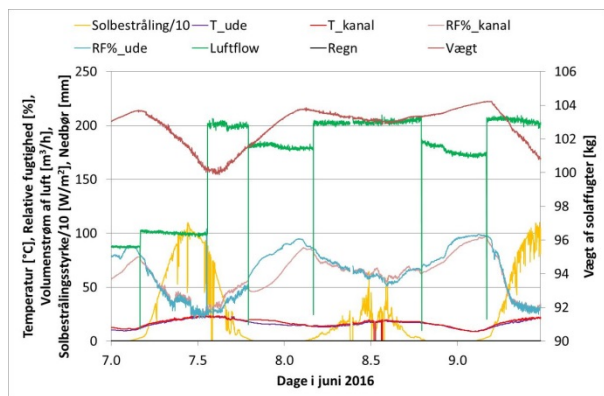
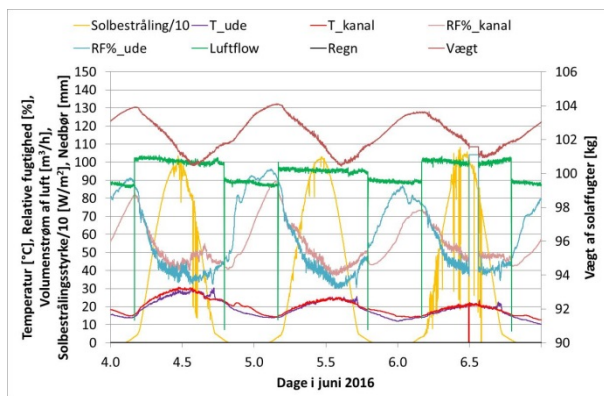
Af Figur 9 tv. Ses at vægten af solaffugteren stabiliseres når stopbetingelsen for ventilator V1 øges til, $T_{\text{dummy,stop}} < 50^\circ\text{C}$. Dette indikerer at 50°C , hvilket også kan ses at svare til en bestrålingsstyrke på solaffugteren på 500 W/m^2 er en passende stopgrænse.

Af Figur 9 ses det at vægtændringen af solaffugteren i dagtimerne er en anelse højere når luftflowet i dagtimerne øges fra $10 \text{ m}^3/\text{h}$ til $40 \text{ m}^3/\text{h}$.

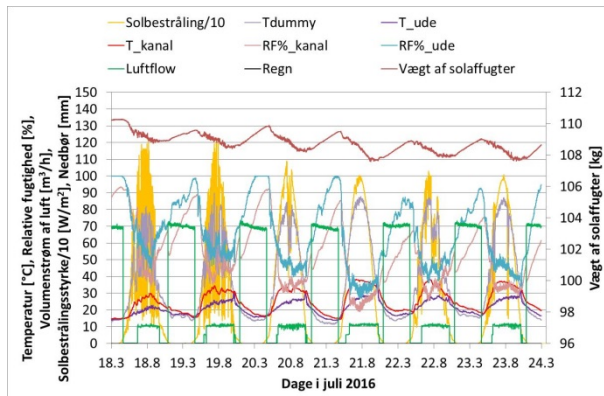
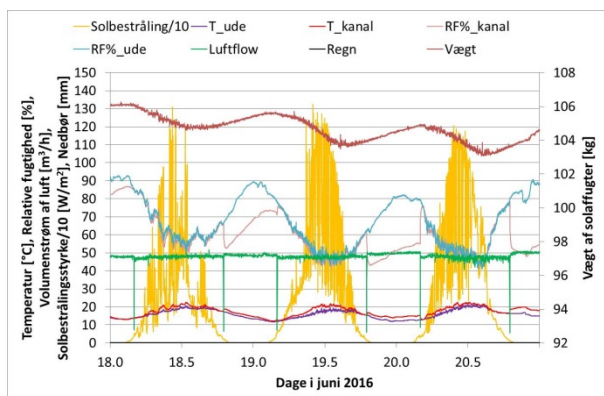
Af Figur 10 tv. Indikeres det at vægtændringen af solaffugteren i dagtimerne kan forbedres yderligere ved at øge luftflowet. Det kan ses ved at hældningen på vægtkurven bliver en anelse stejlere den 15. august efter at luftflowet er øget fra $40 \text{ m}^3/\text{h}$ – $70 \text{ m}^3/\text{h}$.

I oktober går luftflowmåleren desværre i stykker og derfor er flowet, fra dette tidspunkt ikke længere afbildet. Indstillingerne for ventilatorerne er dog ikke ændret og derfor er luftflowet fortsat $70 \text{ m}^3/\text{h}$ både dag og nat.

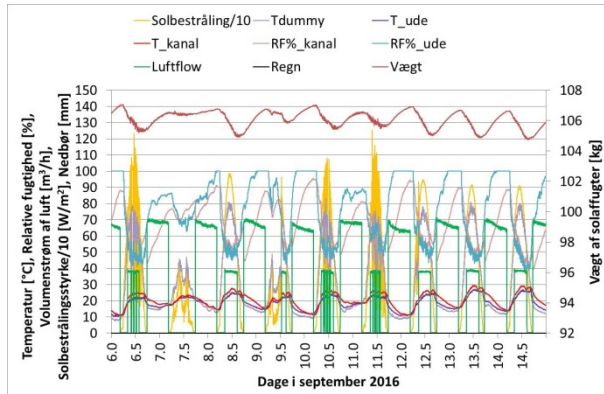
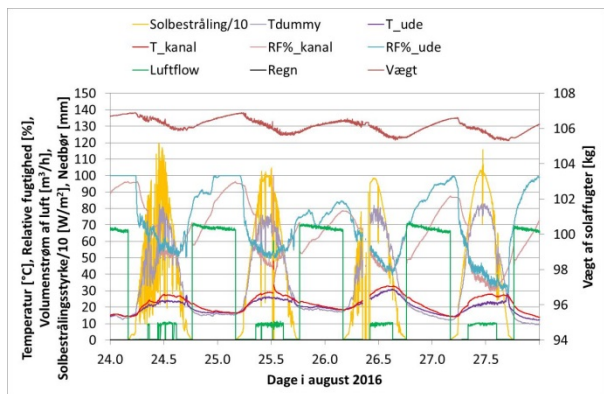
Figur 11-Figur 13 viser at vejrforholdene sjældent giver mulighed for udtørring af silikagelen i solaffugteren ved de givne driftsbetingelser. Figurene viser også at temperaturkrav for start og stop af ventilator V1, på henholdsvis 60°C og 50°C har været for høje allerede fra midt i oktober samt at de reducerede temperaturkrav for start og stop af ventilator V1, på henholdsvis 40°C og 30°C er for høje i december hvor de er aktiveret. De lempede temperaturkrav for start og stop af ventilator V1, på henholdsvis 40°C og 30°C ville have været passende fra midt i oktober.



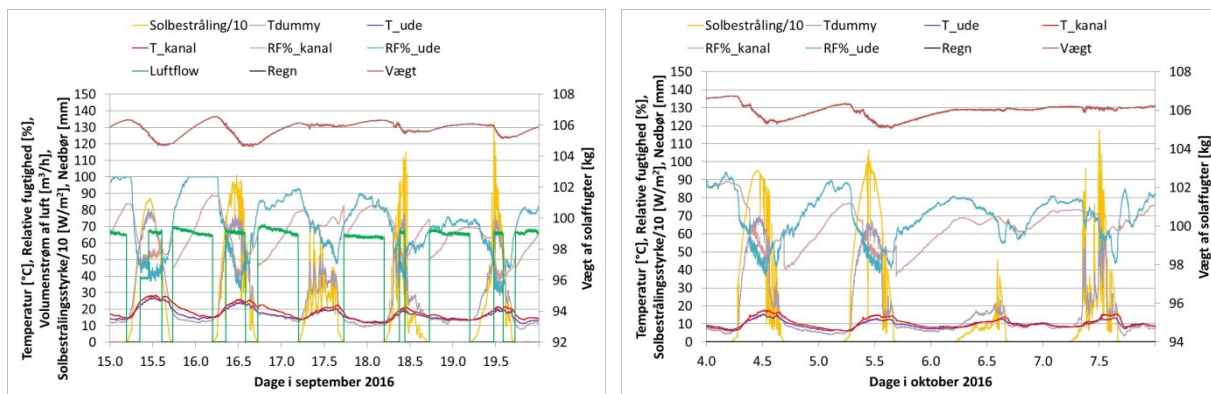
Figur 7. Måleresultater. Luftflow i alle dag- og nattetimer.



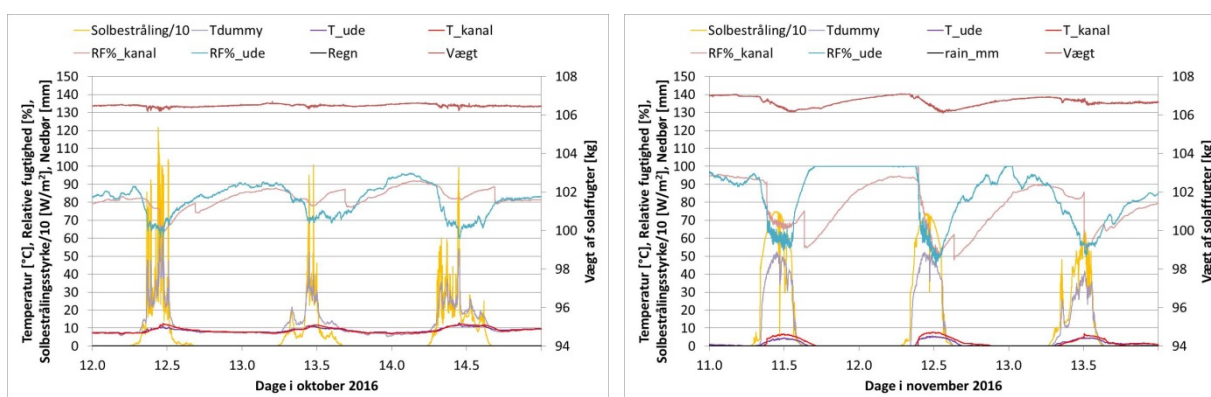
Figur 8. Måleresultater. Til venstre: Luftflow i alle dag- og nattetimer. Til højre: Luftflow i alle nattetimer mens luftflow i dagtimer starter når $T_{dummy,start} > 60^{\circ}\text{C}$ og stopper når $T_{dummy,stop} < 35^{\circ}\text{C}$.



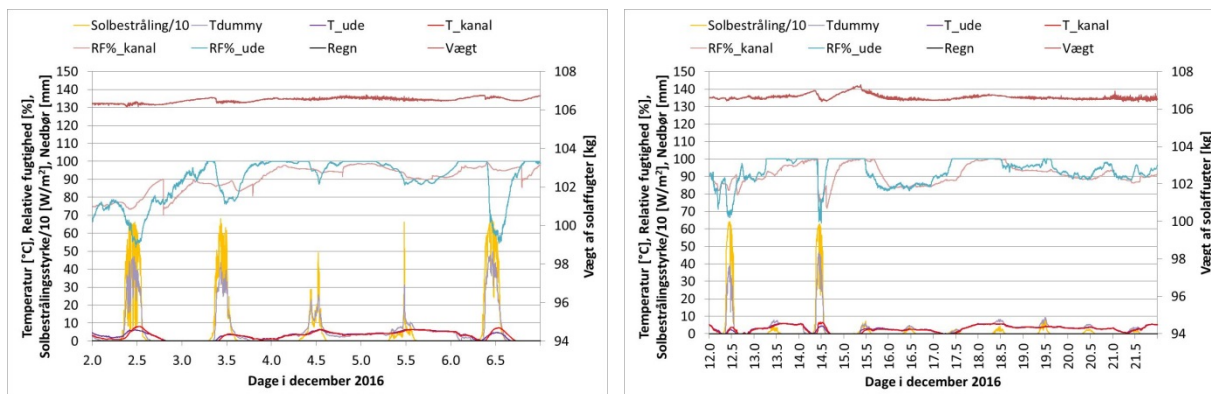
Figur 9. Måleresultater. Luftflow i alle nattetimer mens luftflow i dagtimer starter når $T_{dummy,start} > 60^{\circ}\text{C}$ og stopper når $T_{dummy,stop} < 50^{\circ}\text{C}$.



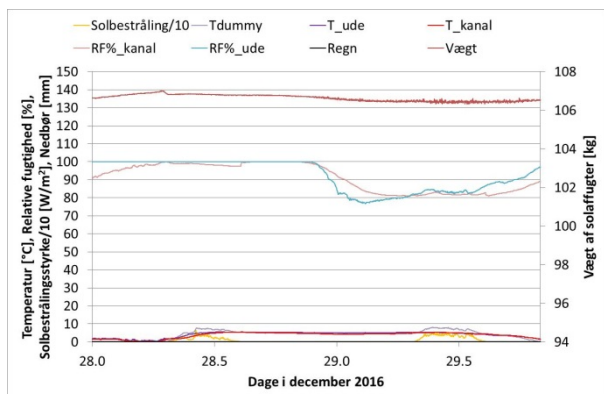
Figur 10. Måleresultater. Luftflow i alle nattetimer mens luftflow i dagtimer starter når $T_{dummy,start} > 60^{\circ}\text{C}$ og stopper når $T_{dummy,stop} < 50^{\circ}\text{C}$.



Figur 11. Måleresultater. Luftflow i alle nattetimer mens luftflow i dagtimer starter når $T_{dummy,start} > 60^{\circ}\text{C}$ og stopper når $T_{dummy,stop} < 50^{\circ}\text{C}$.



Figur 12. Måleresultater. Luftflow i alle nattetimer mens luftflow i dagtimer starter når $T_{dummy,start} > 60^{\circ}\text{C}$ og stopper når $T_{dummy,stop} < 50^{\circ}\text{C}$ (til venstre) og luftflow i dagtimer starter når $T_{dummy,start} > 40^{\circ}\text{C}$ og stopper når $T_{dummy,stop} < 30^{\circ}\text{C}$ (til højre).



Figur 13. Måleresultater. Luftflow i alle nattetimer mens luftflow i dagtimer starter når $T_{dummy,start} > 40^{\circ}\text{C}$ og stopper når $T_{dummy,stop} < 30^{\circ}\text{C}$.

Konklusion

En solaffugter med et solfangerareal på $1,4\text{ m}^2$ er afprøvet udendørs på DTU Byg. Solaffugteren er baseret på den velkendte luftsolfanger fra SolarVenti A/S udbygget med et lag af det fugtabsorberende materiale, silikagel.

Under afprøvningen er solaffugteren monteret i en prøvestand orienteret mod syd og med en hældning på 45° . Afprøvningen er foregået i perioden juni – december 2016. Solaffugteren har i perioden været afprøvet ved forskellige vejrforhold og driftsbetingelser. Solaffugterens evne til at afgive og optage fugt er vurderet på baggrund af ændringerne af solaffugterens totale vægt igennem dag og nat.

Om dagen hvor solen skinner, udtørres silikagelen i solaffugteren således at den udtørrede silikagel kan anvendes til at affugte ventilationsluft i nattetimerne.

De eksperimentelle undersøgelser viser at silikagelen i solaffugteren med solaffugterens nuværende design udtørres bedst når:

- luftflowet om dagen er omkring $100\text{ m}^3/\text{h}$
- luftflowet om dagen startes når solbestrålingsstyrken på solaffugteren er større end $600\text{ W}/\text{m}^2$
- luftflowet om dagen stoppes når solbestrålingsstyrken på solaffugteren er mindre end $500\text{ W}/\text{m}^2$

De eksperimentelle undersøgelser viser at silikagelen i solaffugteren med solaffugterens nuværende design opfugtes bedst når:

- luftflowet om natten er omkring $100\text{ m}^3/\text{h}$
- luftflowet om natten er i perioden fra solnedgang til solopgang

Undersøgelserne viser også at solaffugteren lige efter at den var installeret kunne afgive og optage omkring $3,5\text{ kg}$ fugt i henholdsvis dags- og natdrift. Herefter kunne solaffugteren afgive og optage omkring 2 kg fugt frem til slutningen af september hvorefter fugtoptagelsen og fugtafgivelsen faldt til omkring $0,5\text{ kg}$.

Den lavere virkningsgrad af solaffugteren i efteråret skyldes at solbestrålingsstyrken på solaffugteren er lav og driftstiden i dagtimerne hvor silikagelen i solaffugteren udtørres derfor er sparsom.

DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg
Danmarks Tekniske Universitet

Brovej, Bygning 118
2800 Kgs. Lyngby
Tlf. 45 25 17 00

www.byg.dtu.dk
ISBN: 9788778774620
ISSN 1601-8605